



BONOS DE CARBONO: UNA HERRAMIENTA PARA LA RESILIENCIA Y SOSTENIBILIDAD DE LOS ECOSISTEMAS DE PÁRAMO QUIMIAG-ECUADOR †

[CARBON BONDS: A TOOL FOR THE RESILIENCE AND SUSTAINABILITY OF PARAMO ECOSYSTEMS QUIMIAG-ECUADOR]

Daniel Adrian Vistin-Guamantaqui^{1*}, Edgar Iván Ramos-Sevilla²,
Jaqueline Elizabeth Balseca-Castro³ and Edison Marcelo Salas-Castelo⁴

¹ Escuela Superior politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Facultad de Recursos Naturales, Sede Orellana, Ecuador. Email: daniel.vistin@espoch.edu.ec, adrianvistin@yahoo.com

² Escuela Superior politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Facultad de Ciencias. Panamericana sur Km 1½, Riobamba, Ecuador, C.P. 060155. Email: edgar.ramos@espoch.edu.ec;

³ Escuela Superior politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Facultad de Ciencias. Panamericana sur Km 1½, Riobamba, Ecuador, C.P. 060155. Email: jaqueline.balseca@espoch.edu.ec

⁴ Escuela Superior politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Facultad de Recursos Naturales. Panamericana sur Km 1½, Riobamba, Ecuador, C.P. 060155 - Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación SENSECYT. Quito, Ecuador. Email: esalas@espoch.edu.ec

*Corresponding author

SUMMARY

Background. One of the main difficulties with carbon bonds lies in the ambiguity in the methods of measuring emissions reductions. The diversity of standards and protocols used to quantify emissions makes the effective comparison and evaluation of projects difficult. This lack of uniformity compromises the integrity of the evaluation system since the reliability of carbon bonds depends on the accuracy in measuring reductions. **Objective.** To quantify the organic carbon content in the soil of paramo ecosystems for commercialization through carbon bonds. **Methodology.** 366 cells of 100 x 100 m² were set with the help of Geographic Information Systems software in each ecosystem. To determine the sites to be inventoried, the formula of finite populations was employed, while to determine the Social Cost of carbon, the costs per ton from the year 2011 until 2030 were considered, according to 2017 estimations of the World Bank. **Results.** A total of 399 482.25 tons of total organic carbon (COT) in the seven ecosystems situated in the study area, which equals 8 908 454.18 USD in carbon bonds that could be traded in international carbon markets. **Implications.** The results allow us to develop recommendations to contribute to the sustainability of paramo ecosystems. **Conclusions.** Under a monetary analysis of the price of the sale of carbon bonds and considering that in the best scenario they would be offered at a value of 22.30 USD, a value of 8 908 454.18 USD would be obtained, similarly in the worst scenario with a value of 2.97 USD, there would be a monetary value of 1 186 462.28, which would positively contribute to generating a sustainability project through the conservation and resilience of these high Andean ecosystems.

Key words: carbon bonds; resilience; sustainability; ecosystems; paramo.

RESUMEN

Antecedentes. Uno de los principales problemas con los bonos de carbono reside en la ambigüedad de los métodos de medición de las reducciones de emisiones. La diversidad de estándares y protocolos utilizados para cuantificar las emisiones dificulta la comparación y evaluación efectiva de los proyectos. Esta falta de uniformidad compromete la integridad del sistema, ya que la confiabilidad de los bonos de carbono depende en gran medida de la precisión en la medición de las reducciones. **Objetivo.** Cuantificar el contenido de carbono orgánico en el suelo de ecosistemas de páramo para su comercialización mediante bonos de carbono. **Metodología.** Se construyó 366 celdillas de 100 x 100

† Submitted December 1, 2023 – Accepted May 8, 2024. <http://doi.org/10.56369/tsaes.5361>



Copyright © the authors. Work licensed under a CC-BY 4.0 License. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

ISSN: 1870-0462.

ORCID = D.A. Vistin-Guamantaqui: <https://doi.org/0000-0002-8313-9176>; E.I. Ramos-Sevilla: <https://doi.org/0009-0007-0499-8938>; J.E. Balseca-Castro: <https://doi.org/0000-0001-8402-770X>; E.M. Salas-Castelo: <https://doi.org/0000-0003-0833-8017>

m² con la ayuda de los Sistemas de Información Geográfica en cada ecosistema. Para determinar los sitios a inventariar se utilizó la fórmula de poblaciones finitas, mientras que para determinar el Costo Social del carbono se tomó como referencia el costo por tonelada desde el año 2011 hasta el 2030, según estimaciones del Banco Mundial del 2017. **Resultados.** Se estimaron un total de 399 482.25 toneladas carbono orgánico total (COT) en los siete ecosistemas que componen el área de estudio, lo cual representa un valor de 8 908 454.18 USD en créditos de carbono que se puede comercializar en el mercado internacional. **Implicaciones.** Los resultados permiten elaborar recomendaciones para contribuir con la sostenibilidad de los ecosistemas de páramos. **Conclusiones.** Bajo un análisis monetario sobre el precio de la venta de bonos de carbono y considerando que en el mejor de los escenarios se ofertarían a un valor de 22.30 USD se obtendría un valor de 8 908 454.18 dólares americanos, de igual manera en el peor de los escenarios con un valor de 2.97 USD se contaría con un valor monetario de 1 186 462.28 lo que contribuiría positivamente esto a generar un proyecto de sostenibilidad a través de la conservación y resiliencia de estos ecosistemas altoandinos. **Palabras clave:** bonos de carbono; resiliencia; sostenibilidad; ecosistemas; páramo.

INTRODUCCIÓN

El efecto invernadero es un proceso natural que tiene lugar en la atmósfera de la Tierra, donde diversos gases principalmente naturales absorben radiación infrarroja que procede de la superficie, generando una fuente de energía que complementa la proveniente del sol, que de igual forma pasa por un proceso por medio de la capa de ozono (Villaroel Herrera *et al.*, 2017). Sin embargo, el efecto invernadero, en sí, comprende un beneficio y es parte de la dinámica terrestre, influyendo en la preservación de condiciones óptimas para las poblaciones y en general todos los seres vivos.

El efecto invernadero, se ha visto afectado por el incremento de emisiones de GEI a la atmósfera, debido a que los seres humanos en su afán de desarrollarse y cumplir con las necesidades que día a día se le presentan, ha formulado múltiples propuestas de innovación tecnológica e industrial que conlleven a potencializar la eficacia de los procesos industriales y productivos (Sánchez y Reyes, 2015). Este desarrollo ha tenido un impacto tanto positivo como negativo, principalmente en el factor ambiental, observándose a simple vista un deterioro en muchos de los recursos naturales con los que cuenta el planeta Tierra. Las actividades antrópicas como la deforestación, incremento de circulación de automóviles, los procesos industriales y la quema de combustibles fósiles para diferentes aplicaciones presentan impactos negativos que influyen en la dinámica atmosférica planetaria. Los principales gases que hacen parte del efecto invernadero son, el vapor de agua (H₂O), metano (CH₄), el óxido de nitrógeno (N₂O), gases industriales sintéticos, el ozono (O₃) y el dióxido de carbono (CO₂), este último se encuentra en mayores proporciones en la atmósfera, a la vez su incremento al pasar de las décadas tiene como consecuencia cambios notables en el clima y el entorno natural (Jiménez-García y Peterson, 2019).

La preocupación por el incremento de los gases efecto invernadero (GEI) llevó a las Naciones Unidas a desarrollar una convención denominada Protocolo de Kioto. Este protocolo fue aprobado el 11 de diciembre

de 1997 y entró en vigor el 16 de febrero de 2005. En la actualidad, el Protocolo de Kioto, el cual efectiviza la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, cuenta con 192 partes (miembros firmantes). Este acuerdo busca reducir las emisiones de gases efecto invernadero a la atmósfera, principalmente por los países industrializados comprometiéndolos a que adopten políticas y medidas de mitigación, es decir, a limitar y reducir las emisiones GEI de conformidad con las metas individuales acordadas (Feldmann y Furriela, 2001; Vistin Guamantaqui *et al.*, 2022).

El protocolo de Kioto, basado en el principio de responsabilidades compartidas pero diferenciadas, categoriza a los países participantes en dos grandes grupos, los primeros son naciones con modelos de desarrollo económico estables e industrializados, por ende, estos tendrán mayores obligaciones entorno a la reducción de las emisiones de GEI debido a su alta contribución histórica de emisiones (ONU, 1998; Santos, 2007; Salas y Maldonado, 2019). Mientras que el segundo grupo lo integran países en vía de desarrollo, los cuales requerirán de mayor aporte para la implementación de proyectos y políticas que posibiliten la reducción de los gases (Santos, 2007).

La ONU (2017) manifiesta que las obligaciones de los países firmantes del acuerdo se enmarcan en la reducción de la emisión de gases efecto invernadero, para ello es necesario, inclinarse hacia la eficiencia de las energías renovables, la protección constante de los sumideros y depósitos de los gases efecto invernadero, tanto naturales como artificiales. La promoción de la agricultura sostenible, implementación de tecnologías que ayuden a reducir las emisiones de gases a la atmósfera y las diversas políticas que ayuden a mitigar los efectos del cambio climático (ONU, 1998). Estas acciones promoverán la protección de los recursos naturales para mejorar y prolongar la calidad de vida de todos los seres vivos, con base a los reportes de los diversos índices de extinción de especies, tanto animales como vegetales por las actividades negativas del ser humano.

Los bonos de carbono dentro del protocolo de Kioto se proponen entorno a las emisiones de gases efecto invernadero, partiendo de dos alternativas, la primera es la fijación de la tasa máxima de emisiones a la atmósfera por parte de los países principalmente desarrollados, que es del 5.2%. Por otra parte, los certificados de reducción de las emisiones que se generan entorno a las toneladas emitidas a la atmósfera en medida de toneladas de CO_{2-e} (CO₂ y equivalentes) (Ochoa, 2016), por lo tanto, surge la necesidad de emplear los bonos de carbono como una alternativa para la reducción de emisiones de gases efecto invernadero a la atmósfera y por ende frenar las consecuencias del cambio climático, y además como un modelo que posibilite mejorar el desarrollo económico principalmente en los países en vía de desarrollo.

Para la estructuración de la propuesta de bonos de carbono, se debe tener en cuenta cuatro instrumentos específicos para implementar esta alternativa en la protección del ambiente. Estrada-Chavira (2022) los define como “certificados de reducción de emisiones (CERs), las unidades de montos asignados (AAUs) anualmente, las unidades de reducción de emisiones (ERUs) y las unidades de remoción de emisiones (RMUs)” los cuales aplican mayormente a los países desarrollados e industrializados del mundo. Los certificados de reducción de emisiones se han convertido en un producto económico que se vende en el mercado para quienes necesitan obtener un porcentaje de reducción de emisiones, mientras que, otros países desarrollan políticas voluntariamente para la reducción de las emisiones e igualmente son remuneradas entorno a proyectos que aporten al mejoramiento de la calidad de vida (Mendoza *et al.*, 2019).

Pizarro (2021) menciona que los bonos de carbono se han convertido en una alternativa con dos posibilidades o beneficios para las naciones que los implementan. La primera inclinada a la obtención de recursos económicos por la disminución de emisiones de GEI a la atmósfera, y la segunda propende un aporte a la conservación de los recursos naturales y las condiciones climáticas óptimas para el desarrollo de la vida en el planeta.

Los mercados de carbono se ven regidos por un componente ambiental, donde generalmente países realizan una compra de certificados de reducción de emisiones de GEI a la atmósfera para poder continuar con sus actividades de producción. Mayoritariamente, quienes compran los certificados son países desarrollados con alta demanda de procesos industriales, siendo los países de tercer mundo o en vías de desarrollo los que venden estos certificados (Aguirre *et al.*, 2017). Por ende, los países vendedores deben implementar proyectos ligados a la disminución

de las emisiones de GEI a la atmósfera, para ello, principalmente se conserva reservas naturales pioneras en el almacenamiento de Carbono, además de otras políticas como agricultura ecosostenible y la disminución de quema de combustibles fósiles, complementando con actividades de concientización sobre el uso de vehículos y preservación del ambiente.

Vistin Guamantaqui *et al.*, (2022) mencionan que los dos tipos de mercado son: Comercio de permisos de emisiones (Pes) y Transacciones Basadas en Proyectos (TBRs), los primeros comprenden la adquisición de permisos de emisiones para continuar con sus procesos de producción, teniendo en cuenta, los límites establecidos por el protocolo de Kioto, estos se enmarcan en los niveles de contaminación y deben contar con un regulador, que generalmente son los entes gubernamentales. Por otra parte, el segundo es una serie de transacciones directas donde el comprador participa de diversos proyectos de reducción de GEI y al lograrlo obtiene los denominados “créditos de carbono” que permiten a las industrias principalmente el desarrollo de sus actividades bajo un marco de preservación del ambiente y disminución del cambio climático.

Las remuneraciones económicas que obtienen los países al vender o reducir las emisiones de GEI, dependen del valor establecido para cada tonelada de CO_{2-e} reducida, refiere que el valor de la tonelada de CO_{2-e} oscila en el valor de 17 libras esterlinas para países europeos, como el Reino Unido, sin embargo, este valor también fluctúa en otras naciones como, Alemania, Japón, Australia, Canadá, entre otros; con el fin de negociar cada tonelada en el mercado. El mercado del carbono se rige desde los Mercados de Desarrollo Limpio (MDL), establecidos por la junta directiva del protocolo Kioto con el fin de proponer tecnologías que aporten a la reducción de las emisiones de CO_{2-e}, la inversión para dichas tecnologías será realizada por los países industrializados interesados en obtener los certificados de reducción y así poder desarrollar sus actividades industriales con las políticas de Kioto (IPCC, 2014). Por lo tanto, se convierte en una alternativa de beneficio para los países industrializados como los países en vía de desarrollo.

Por otra parte, el flujo económico se basa en la venta de los CERs, con el fin de reducir los GEI en la atmósfera, donde los vendedores especialmente países en desarrollo, promueven la reducción para aportar a sus modelos de desarrollo sostenible económico, mientras que los compradores de los certificados logran desarrollar sus actividades industriales desde el régimen que estipula el protocolo de Kioto (León y Rodríguez, 2020). Existen valores económicos por cada tonelada de CO_{2-e} reducidas, regido por el Banco Mundial que trabaja por medio del Fondo Prototipo de Carbono, que estipula el valor de la tonelada en 3.5

USD, con la oferta de aumentar el valor de medio dólar a cada tonelada cuando el dinero es destinado a proyectos de índole social (León y Rodríguez, 2020). Por lo tanto, cada venta significa que el país que obtiene el beneficio económico debe hacerlo en conjunto para el bienestar de las regiones principalmente las cercanas al proyecto. Teniendo en cuenta, las propuestas que se generaron entorno al protocolo de Kioto y la preocupación por el aumento paulatino del efecto invernadero debido a la emisión de gases efecto invernadero, que se producen la mayoría por actividades antrópicas, es necesario que en el Ecuador se desarrollen políticas ligadas a la reducción de las emisiones, lo que posibilitara la entrada a los Mercados del Carbono.

Vistin y Barrero (2017) mencionan que el Ecuador es uno de los países con mayor diversidad en América Latina, comprende una serie de reservas naturales que posibilitan una buena reducción de emisiones del carbono, acompañado de políticas sostenibles que además de proteger el ambiente, genere la seguridad del abastecimiento de recursos naturales no renovables principalmente, siendo el agua, uno de los más necesarios para el desarrollo de la vida en el planeta.

El objetivo de este estudio fue cuantificar cantidad de carbono orgánico almacenado en el suelo de los ecosistemas de páramo dentro del territorio de la parroquia Quimiag, con el fin de analizar la viabilidad de ofertar bonos de carbono en los mercados internacionales como un mecanismo para apoyar la sostenibilidad y resiliencia de los ecosistemas altoandinos.

MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología se enmarca en un método de coste-beneficio que aportará las directrices necesarias para analizar los resultados obtenidos en el estudio, involucrando los recursos económicos necesarios para implementar estrategias novedosas al desarrollo del país. Por otra parte, el enfoque cuantitativo posibilita una serie de herramientas de tipo estadístico y numérico que brindarán datos exactos sobre el área de estudio y sus aportes al almacenamiento y reducción de la emisión en los gases efecto invernadero que son emitidos a la atmósfera e influyen en el cambio climático.

Método coste-beneficio

El método coste-beneficio es una herramienta de análisis que posibilita identificar todos los costes principalmente económicos que se deriva de los proyectos como los beneficios que se obtienen de este a nivel monetario (Espinosa, 2017); por lo tanto, incluye todas las aristas del proyecto desde una visión económica, permitiendo decidir la viabilidad de la

ejecución de este en el entorno investigativo. El método coste-beneficio, comprende un análisis completo de todas las consecuencias tanto económicas como sociales que tendrá el proyecto en un futuro y los recursos económicos que se necesitará invertir para suplir dichas consecuencias; por lo tanto, en el estudio posibilitará las directrices necesarias para determinar si el conocer los índices de almacenamiento del carbono en los suelos del páramo dentro de la Reserva Natural El Ángel, son alcanzables para propiciar un ingreso al desarrollo económico del país.

Para Díaz (2017), el método de costo-beneficio es una herramienta de utilidad para las investigaciones científicas que proponen un impacto social en las áreas de investigación; debido a la continua inclusión de políticas de innovación tecnológica tanto a los procesos investigativos como a los diversos ámbitos de la vida cotidiana, convirtiéndose en un reto a cumplir al desafiar los límites de cada investigación para lograr aportes relevantes en la historia. Por lo tanto, en el presente estudio este método posibilita un análisis de cada uno de los costos necesarios para desarrollar el estudio, sin embargo, se mencionan los beneficios tanto a corto como a largo plazo para las diferentes regiones del Ecuador y el impacto a nivel ambiental que tiene para todos los habitantes, mejorando la calidad de vida de cada uno de ellos.

Enfoque cuantitativo

La investigación comprende un enfoque cuantitativo debido a la necesidad de utilizar herramientas y técnicas de tipo estadístico para la recolección de información y análisis desde una perspectiva exacta de las cifras de carbono que se pueden almacenar en la Reserva Ecológica El Ángel desde sus ecosistemas de páramo. El enfoque cuantitativo posibilita la afirmación de hipótesis desde la utilización de medidas numéricas y estadísticas para el análisis de los patrones que se desarrollan en una determinada comunidad. Las herramientas que hacen parte de este enfoque son las preguntas cerradas, encuestas, procedimientos exactos entorno a la respuesta de preguntas de investigación (Páez y Recalde, 2016), entre otras. Teniendo en cuenta, los resultados obtenidos de la Reserva Ecológica El Ángel, el enfoque cuantitativo brinda las herramientas necesarias para un análisis completo utilizando estadísticas reales, consultadas en la aproximación teórica.

Área de estudio

El área de estudio abarca una extensión de 6 432.43 hectáreas en las cuales se encuentran siete ecosistemas de acuerdo a la tipología: Arbustal siempreverde montano con 180.56 ha, Arbustal siempreverde y Herbazal del páramo con 172.78 ha Bosque siempreverde montano alto con 768.09 ha, Bosque

siempreverde del páramo con 26.07 ha Herbazal y Arbustal siempreverde subnival del páramo 2 142.42 ha, Herbazal del páramo con 3 092.38 ha y por último el Herbazal húmedo montano alto superior del páramo 50.13 ha. La temperatura en el área de estudio varía dependiendo de la altitud pero la media según los reportes del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (2023) van de 12°C en las partes altas y 20°C en los valles. La precipitación anual varía de 500 a 2000 mm.

La zona de estudio se localiza en las coordenadas X: 773673 Y: 9814528 y a una altitud promedio de 4 000 msnm (Figura 1). En cuanto a los factores diagnóstico de la zona presenta una fisonomía arbustiva y arbórea, presenta un clima mesotérmico seco en el fondo de los valles, aquí también se presentan afloramientos rocosos generalmente dispuestas en laderas abruptas formando escarpes y acantilados. Los principales ríos que se encuentran dentro de esta zona son Río Blanco, Río Taullin, Río Chambo, Río Collanes, Río Tiacu y Río Chiniloma.

Análisis estadístico

Para determinar la intensidad de muestreo, tamaño de la muestra y número de unidades muestrales se elaboró una cuadrícula de 100 X 100 m² en cada ecosistema, para esto se utilizó el software Arc Gis 10.1®. Con la herramienta Hawth's Tools – Sampling Tools – Create Vector Grid se construyeron 366 celdillas en las siete formaciones vegetales. Solo se contabilizaron todas aquellas que no estaban en una zona de ecotono ecológico, y así evitar el efecto de borde a la hora de la toma de datos en campo.

Para el análisis estadístico se tomaron en consideración los criterios y fórmulas del Manual de Ordenación de Montes de Andalucía propuesto por Rodríguez *et al.*, (2004). Con el cual se determinó la intensidad de muestreo (Ecuación 1):

$$i = \frac{n \times a}{A} \times 100\% \quad \text{Ecuación 1}$$

Dónde: i = intensidad de muestreo; n = número de parcelas seleccionadas; a = parcela expresada en hectáreas; A= número total de parcelas establecidas

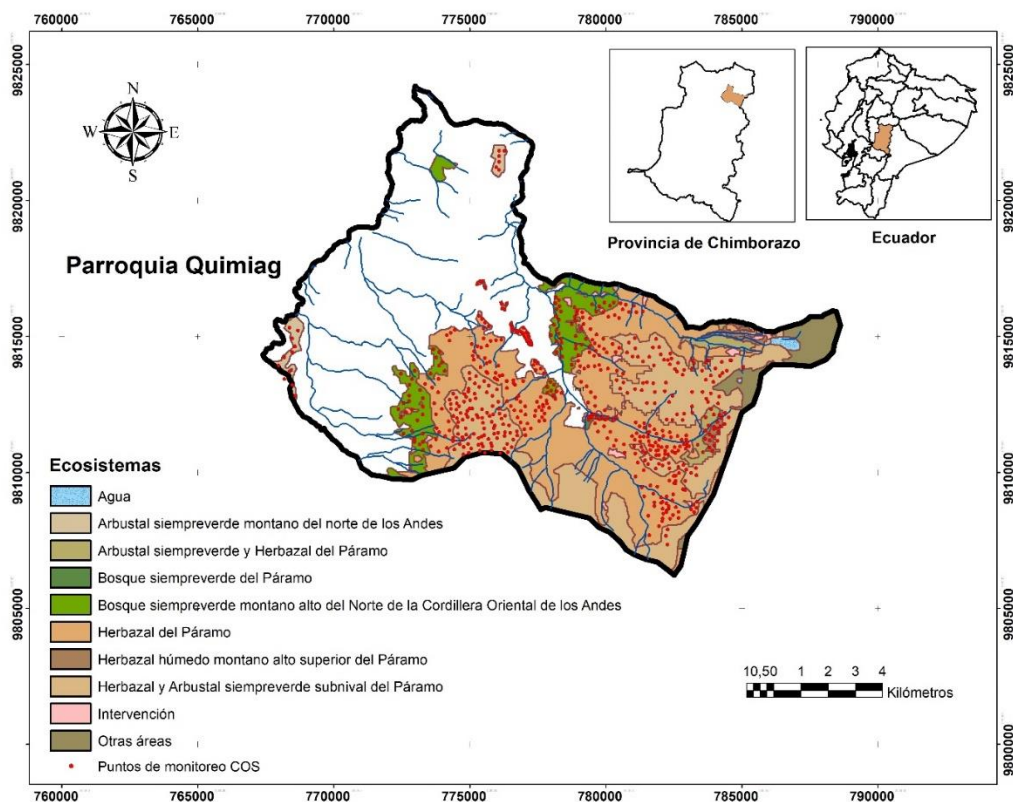


Figura 1. Mapa de uso de suelo de la Parroquia Quimiag Chimborazo, Ecuador (elaborado por autores).

El tamaño de la muestra se aplicó mediante la Ecuación 2:

$$n = \frac{t^2 s^2}{E^2 \frac{t^2 s^2}{N}} \quad \text{Ecuación 2}$$

Dónde: n = magnitud de la muestra en número de unidades; t^2 = se obtiene de la tabla de t student y su valor depende la magnitud de n ; s^2 = varianza poblacional estimada; N = tamaño de la población.

Para el análisis estadístico (Ecuación 3) se trabajó con un error del 5% y 95% de certeza para ello, se utilizaron parcelas óptimas donde el tamaño de la muestra aproximado para estimar p con un límite de B para el error de estimación, determinándose el número de puntos donde se recolectaron los datos para su análisis (Tabla 1).

$$n = \frac{\sum_{i=1}^L N_i^2 p_i q_i / a_i}{N^2 D + \sum_{i=1}^L N_i^2 p_i q_i} \quad \text{Ecuación 3}$$

Dónde: a_i = es la fracción de observaciones fijadas al estrato; i , p_i = es la proporción poblacional para el estrato; i y $D = B^2/4$

Una vez que se estableció el número de unidades muestrales se procedió a redondear los valores para obtener el número exacto de sitios donde se llevó a cabo la recolección de datos.

Datos de campo

La densidad aparente (Da) se estimó en campo y en muestras no alteradas de suelo empleando el método del cilindro para volumen (cilindro de 7 cm de diámetro y 6 cm de altura y a una profundidad de 30 cm). Para estimar el contenido de Carbono Orgánico Total (COT) se utilizó la técnica Dumas o de combustión seca (McCarty *et al.*, 2002). Para convertir el COT a Materia Orgánica (MO) se utilizó el factor propuesto por Van Bemmelen que indica que el 58% de la MO está compuesta por carbono (Ecuación 4). Sin embargo, como este contenido deriva de la composición elemental promedio de los ácidos húmicos no contempla la composición de todas las sustancias orgánicas del suelo.

Así para estimar del CO se empleó la siguiente ecuación:

$$A = \frac{MO}{1.724} \text{ o } C = MO(0.58) \quad \text{Ecuación 4}$$

Dónde: C = Porcentaje de carbono; MO = Porcentaje de materia orgánica

A continuación, el contenido de carbono orgánico total en suelo se calculó con la siguiente fórmula (Ecuación 5).

$$COS = CO (Da) Ps \quad \text{Ecuación 5}$$

Dónde: COS = Carbono orgánico total en suelo por superficie ($t \text{ ha}^{-1}$); COT = Carbono orgánico total (%); Da = Densidad aparente (g/cm^3); Ps = Profundidad del suelo (m).

Costo social del carbono

Para la valoración económica del contenido de carbono, se utilizó el método del costo del daño evitado a nivel global por la mitigación del cambio climático (Castro, 2011). Se proyectaron 4 escenarios cronológicos, tomando los precios del carbono emitidos en distintos informes realizados a nivel mundial, para los años 2011, 2017, 2020 y 2030 (Tabla 2). Para el escenario correspondiente al primer año se tomó la cifra reportada por Castro, (2011), que indica un valor referencial para una comparación relativa a la variación del costo del carbono en función del tiempo.

Para el segundo escenario año 2017 se empleó el dato proporcionado por el Banco Mundial en su informe "Fijación del precio del carbono" 2017, siendo el valor más cercano reportado hasta la fecha en que se realizó este trabajo. Los precios previstos para el tercer y cuarto escenario año 2020 y 2030 fueron generados por el Banco Mundial en su informe *State and Trends of Carbon Pricing*, donde se indica que los costos que varían entre rangos 40-80 y 50-100 USD/t CO_2 son coherentes con el objetivo de temperatura del Acuerdo de París (Bank World, 2017).

Valoración económica del contenido de carbono en el suelo

El contenido de carbono en $t \text{ CO/ha}$ se multiplicó por cada precio establecido en la Tabla 2. El resultado de la Ecuación 2 se extrapoló a toda la superficie del área de estudio (6 432.43 ha); de esa manera se obtuvo el valor económico total del contenido de carbono del área de estudio (Ecuación 6).

$$V \text{ carbono} = \frac{USD}{ha} = \text{Contenido COS} \frac{t \text{ CO}_2}{ha} * \text{Costo social del C} \frac{USD}{t \text{ CO}_2} \quad \text{Ecuación 6}$$

Dónde: V carbono: valor de carbono; Contenido COS : contenido de carbono orgánico en el suelo; Costo social del C: Costo social del carbono.

Tabla 1. Determinación del número de muestras por formación vegetal mediante parcelas óptimas en los ecosistemas de la parroquia Químiag.

Tipo de vegetación	AsMn01-01	AsSn01-01	BsAn01-01	BsSn01-01	HsNn03-01	HsSn02-01	HsSn03-01
N (ha)	181	173	768	26	2143	3093	50
P	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Q	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Ai	0.03	0.03	0.12	0.00	0.33	0.48	0.01
Σ num	291 138.50	278 270.5	1 235 328	41 821	3 447 015.5	4 975 090.5	80 425
Σ den	45 250	43 250	192.000	6 500	535 750	773 250	12 500
Ni	10.20	9.75	43.27	1.46	120.74	174.26	2.82
(n) redon	11	10	44	2	121	175	3

Σ num = Suma de numerador; Σ den = Suma del denominador; ni = Número de unidades muestrales; AsMn01-01 = Arbustal siempreverde montano del norte de los Andes; AsSn01-01 = Arbustal siempreverde y Herbazal del páramo; BsAn01-01 = Bosque siempreverde montano alto; BsSn01-01 = Bosque siempreverde del páramo; HsNn03- 01 = Herbazal y Arbustal siempreverde subnival del páramo; HsSn02- 01 = Herbazal del páramo; HsSn03-01 = Herbazal húmedo montano alto superior del páramo.

Tabla 2. Precios de la tonelada de dióxido de carbono.

Año	Precio, USD/t CO ₂
2011	15
2017	10
2020	40 – 80
2030	50 – 100

USD/t CO₂: dólares americanos por tonelada de dióxido de carbono. Fuente: Castro (2011); World Bank (2017).

RESULTADOS

Niveles de COT en el suelo a 30 cm en la Parroquia Químiag

Una vez realizados los análisis de contenido de carbono orgánico en los siete ecosistemas que alberga la parroquia Químiag, se obtuvo un mapa donde se visualiza en el área de estudio las diferentes cantidades o concentraciones de carbono. Para la cuantificación, en cada uno de los ecosistemas se consideraron cuatro niveles: Bajo (0 – 50 t/ha), Medio (50 – 150 t/ha), Alto (150 – 250 t/ha), Muy alto (250 - >300 t/ha) (Vela *et al.*, 2009).

Suelo con formaciones vegetales con contenido de COS bajo (0 – 50 t/ha)

En este estudio se observó la relación que existe entre el tipo de vegetación y el contenido de CO en el suelo. Los resultados muestran que los páramos a elevaciones por encima de los 3500 msnm presentan niveles bajos de almacenamiento. Mientras que desde los 2800 a 3000 msnm, los páramos tienen niveles medios de contenido de carbono. Estos valores generan aportes significativos a la hora de proponer una oferta de bonos

de carbono al mercado internacional como mecanismo de sostenibilidad ecológica.

De la misma manera, se establece una relación entre la cantidad de CO almacenado y la formación vegetal presente, para esto se consideró lo propuesto por Vela *et al.*, (2009) donde establece cuatro niveles sobre el contenido de carbono en el suelo muy alto, alto, medio y bajo. Los suelos de las formaciones vegetales con niveles bajos reportados en este estudio corresponden a Herbazal y arbustal siempreverde subnival del páramo con un promedio de 35 t/C/ha, seguido de la formación vegetal Bosque siempreverde montano alto con un promedio de 46 t/C/ha, de la misma manera la formación vegetal correspondiente a Arbustal siempreverde montano presento valores promedios de 45 t/C/ha, en lo que respecta a Herbazal húmedo montano alto superior del páramo y Bosque siempreverde del páramo presentaron valores medios de 46 t/C/ha este último presenta valores bajos debido a que este bosque está en su mayoría ubicado en suelos rocosos poco desarrollados.

Las formaciones vegetales correspondientes a Herbazal y arbustal siempreverde subnival del páramo, Bosque siempreverde montano alto, Arbustal siempreverde montano, Herbazal húmedo montano alto superior del páramo y Bosque siempreverde del páramo almacenan el 79.20% del CO, mientras que las formaciones vegetales Arbustal siempreverde y Herbazal del páramo y Herbazal del páramo representan el 20.8% esta última principalmente ya que los herbazales, al estar dominados por vegetación herbácea, exhiben tasas de crecimiento y productividad vegetal significativas así la rápida acumulación de biomasa contribuye directamente al aumento del contenido de carbono orgánico en el suelo (Magrin, 2015). Además de esto Vistin *et al.*, (2020) también afirman que la presencia de encharcamientos

temporales en los herbazales crea condiciones únicas que favorecen la acumulación de materia orgánica. Estos encharcamientos promueven la formación de turberas, un tipo de suelo rico en carbono, al limitar la descomposición de la materia orgánica y proporcionar un ambiente propicio para la acumulación de material vegetal.

Suelo con formaciones vegetales con contenido de COS medio (50 - >150 t/ha)

Por otro lado, la formación vegetal Arbustal siempreverde y herbazal del páramo según lo propuesto por Vela *et al.*, (2009) corresponde a la categoría media donde tras los análisis respectivos se establece una media de 80 t/C/ha, paralelamente al analizar los resultados de la formación vegetal Herbazal del páramo es la que mayor contenido de CO presentó en el suelo a una profundidad de 30 cm con un valor promedio de 85 t/C/ha esto principalmente se da ya que la actividad entre macroorganismos y suelo en los herbazales, especialmente en condiciones anaeróbicas asociadas con encharcamientos temporales, puede favorecer la acumulación de carbono orgánico en forma de materia orgánica no descompuesta. Esta interacción suelo-microorganismos contribuye significativamente a la retención de carbono en el suelo bajo esta formación vegetal (Pinos-Morocho *et al.*, 2021).

Capacidad del suelo de la parroquia Quimiag para almacenar y retener COS

Gradstein y León-Yáñez, (2020) manifiestan que en diversos estudios la composición vegetal característica de los páramos contribuye de manera significativa al depósito de materia orgánica. Spracklen y Righelato, (2014) afirman que la biomasa es un factor contribuyente para el aumento de COS, el cual varía entre 13.21 y 183 t/ha. Con este antecedente se establece que el contenido de MO, y por consiguiente de COS, en el área de estudio está directamente relacionada con el tipo de vegetación que se encuentra en la parte aérea. Así se establece que dentro del área de estudio se encuentran 399 482.25 toneladas de carbono orgánico (Figura 3).

Basados en los resultados analizados en el laboratorio la formación vegetal Herbazal del páramo es la que más CO en el suelo almacena y al ser el que mayor superficie tenga con 3 092 ha tiene en su suelo 262 852 t/CO representado el 65.80% del carbono almacenado total en los siete ecosistemas. Esto puede deberse a que en su mayoría el territorio se encuentra dominado por las especies *Calamagrostis intermedia* y *Agrostis perennans*, ya que estas ocupan el 75% de esta tipología vegetal. Mientras que otras especies de los géneros *Calamagrostis*, *Agrostis*, *Festuca*, *Cortaderia* y *Stipa* solo representan el 25%. El ecosistema Herbazal y arbustal siempreverde subnival del páramo almacena 74 984.70 t/CO lo que representa el 18.77% en 2 142.24 ha, seguido del ecosistema Bosque siempreverde montano alto cuya extensión es de 768

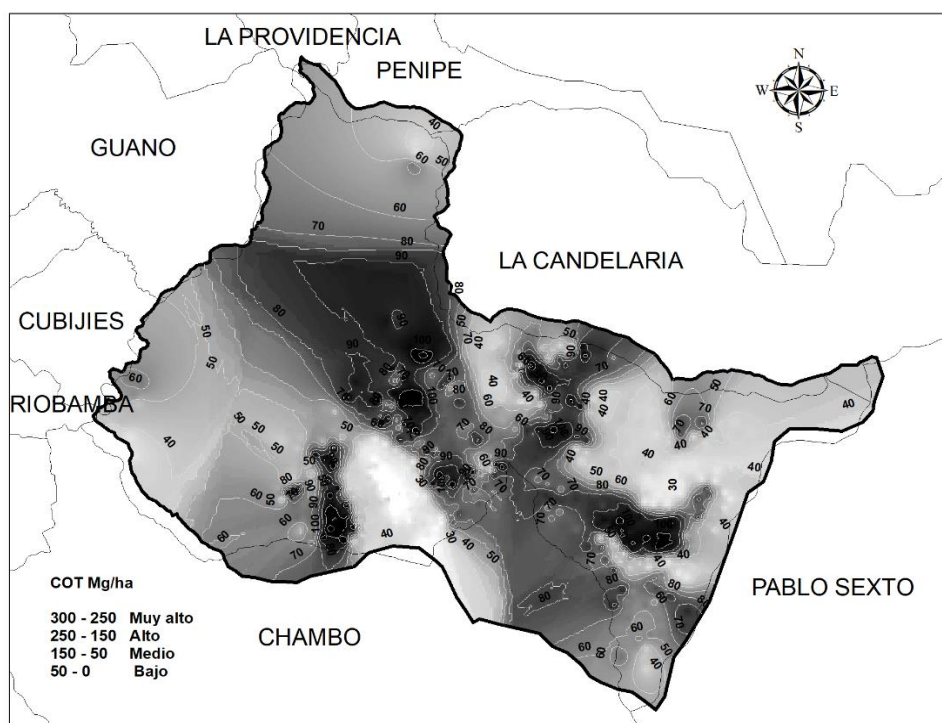


Figura 2. Niveles de concentración de COT en t/ha en la Parroquia Quimiag (elaborado por autores).

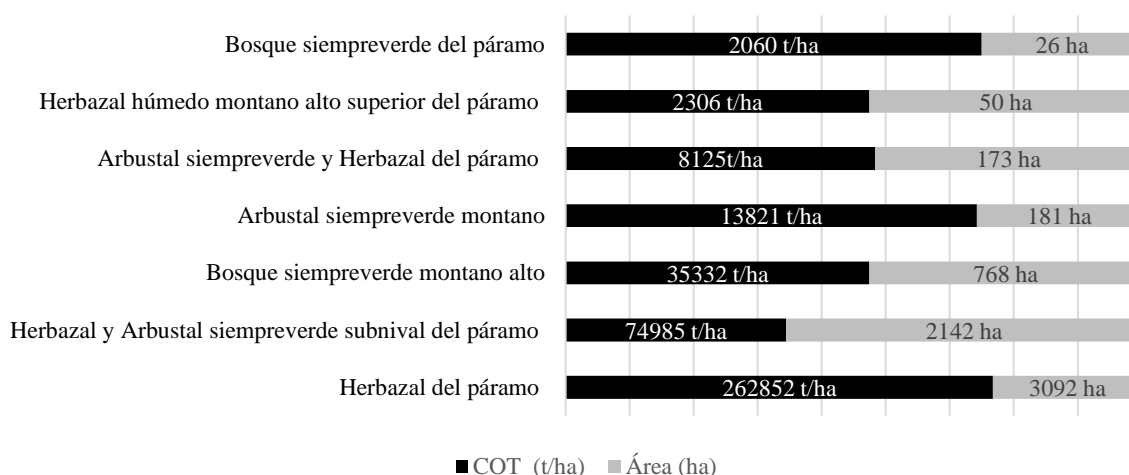


Figura 3. Relación área – formación vegetal – contenido de carbono orgánico total – área.

hectáreas y en su suelo almacena 35 332.14 t/CO₂e, el ecosistema Arbustal siempreverde y herbazal del páramo ocupa una extensión de 173 hectáreas almacenando 13822.40 t/CO₂e lo que representa el 3.46% del carbono almacenado principalmente debido a la presencia de especies del género *Baccharis*, *Gynoxis*, *Brachyotum*, *Escallonia*, *Hesperomeles*, *Miconia*, *Buddleja*, *Monnina* e *Hypericum*.

De igual manera el ecosistema Arbustal siempreverde montano en sus 181 hectáreas almacena 8 125.20 t/CO₂e representando el 2.03%, el ecosistema Herbazal húmedo montano alto superior del páramo cuenta con una extensión de 50 hectáreas y almacena 2 305.98 t/CO₂e lo que representa el 0.58% y por último tenemos al ecosistema Bosque siempreverde del páramo que ocupa una extensión de 26 hectáreas y almacena 2 059.53 t/CO₂e este estrato arbóreo es dominado por pocas especies, debido a limitaciones fisiológicas que impiden el crecimiento leñoso, el dosel está generalmente compuesto por especies del género *Polylepis*, *Gynoxys*, y *Buddleja*, aunque la dominancia de estos bosques varía mucho, llegando en algunos casos a formar unidades monotípicas de *Polylepis* o *Gynoxys*.

Valoración económica del contenido de carbono en los siete ecosistemas de la parroquia Quimiag

El valor económico total más alto corresponde al que se proyectó para el año 2030 y el más bajo corresponde al año 2017, debido a la disminución del precio que sufrió la tonelada de CO₂e en ese período. Con las cifras de la Tabla 2. se evidencia que el precio del carbono disminuyó entre 2011 y 2017 en 1.49 USD. Sin embargo, si se mantiene el contenido de carbono en el suelo, proyectado con los cálculos de este estudio, se esperaría que el valor económico incrementa

notablemente para los años 2020 y 2030 en un valor de 22.30 USD.

El Calentamiento Global no solo representa un desastre ambiental sino fundamentalmente una dificultad económica y social para todas las personas que habitamos este planeta (FAO, 2017). Bajo este contexto se crea un incentivo para que las empresas y las personas físicas cambien sus patrones de inversión, producción y consumo. A través de una señal de precios clara y firme, la fijación del precio del carbono establece los incentivos adecuados para la transición de gran escala tan necesaria hacia una economía con bajos niveles de emisión de carbono en este sentido el Sistema Europeo de Negociación de CO₂e SENDE CO₂e proporciona un entorno fácil y seguro de negociación de Derechos de Emisión de Dióxido de Carbono y Créditos de Carbono lo cual determinan valores establecidos por el Banco Mundial fijando un valor de 22.30 USD hasta el 2030. En este contexto aplicando la ecuación para calcular el aporte económico por fijación de carbono, multiplicando los valores de: el precio referencial vigente en el mercado internacional; número de hectáreas donde se trabajó y el COT obteniendo el aporte por cada ecosistema nos da un valor de 8 908 454.18 USD en créditos de carbono que se puede ofertar al mercado internacional. Este aporte por los bonos de carbono se convertiría en un mecanismo de conservación, sostenibilidad y resiliencia de los siete ecosistemas frágiles que alberga esta importante parroquia en el Ecuador.

Dado que estos ecosistemas desempeñan un papel crucial en la regulación del ciclo del agua y la biodiversidad, se requiere una gestión cuidadosa para preservar y restaurar sus funciones ecológicas. Además, se debe considerar la implementación de medidas específicas, como la restauración de suelos y la promoción de prácticas agrícolas sostenibles, para

mejorar la capacidad de estos páramos para almacenar carbono y contribuir a los esfuerzos globales de mitigación.

DISCUSIÓN

Los resultados muestran que los suelos de páramo, especialmente aquellos con vegetación intacta, albergan una cantidad significativa de carbono como es el caso de las formaciones vegetales Herbazal de páramo, y el Herbazal y arbustal siempreverde subnival del páramo, los cuales en conjunto suman 337 837 toneladas de COS. Sin embargo, la amenaza de la degradación del suelo debido a actividades humanas, como la agricultura intensiva y la minería, plantea desafíos importantes. La implementación de un sistema de bonos de carbono podría proporcionar incentivos financieros para la adopción de prácticas sostenibles y la restauración de ecosistemas dañados.

A pesar de su potencial, la implementación de un sistema de bonos de carbono en suelos de páramo enfrenta desafíos considerables. Estos incluyen la necesidad de establecer mediciones precisas del carbono almacenado, abordar cuestiones de gobernanza y desarrollar mecanismos efectivos de monitoreo. Además, se requiere una atención especial para evitar impactos negativos en las comunidades locales, asegurando que los beneficios económicos sean compartidos de manera justa.

El Estado ecuatoriano desde el 2008 hasta el 2015, a través del programa Socio Bosque, ha invertido 10 millones de dólares en la conservación de un total de 1 488 373 ha. Debido a esta acción, se puede ver que la implementación de pagos por incentivos está en constante crecimiento; de tal manera que desde el 2008 al 2015 se incorporaron 1 098 723 ha (MAE, 2013) al programa. En tal virtud el incremento de los incentivos suma un total de 7 millones y medio de dólares adicionales. Según los datos del Programa Socio Bosque, en el 2016 los ecosistemas de Bosque húmedo tropical, que comprenden el 85% de la totalidad de los ecosistemas conservados, recibieron el mayor monto de incentivos económicos; alrededor de 7 millones de dólares. En segundo lugar, se encuentra el Bosque montano con 67 000 ha, equivalentes al 5%, recibieron un incentivo que llega a un millón de dólares. El tercer lugar le corresponde al páramo con una extensión de 60 740 ha, equivalente al 4% del total nacional, cuya cifra en incentivos alcanzó un monto de 1 127 498 dólares. Este monto es mayor que el anterior, aunque con un número menor de hectáreas, debido a que los montos de la estructura de incentivos son mayores para este ecosistema.

La meta establecida desde su creación para el ecosistema de páramo es de entre 600 000 y 800 000 hectáreas (MAE, 2015). Sin embargo, los resultados

institucionales de Socio Bosque indican que se han conservado tan solo 60 740,14 ha en todo el territorio nacional, lo cual representa el 10% de la meta mínima. Este es un indicador clave para demostrar que, a pesar de los incentivos entregados, la conservación de este ecosistema aún necesita mucho trabajo.

En Ecuador únicamente se negocia bonos, acciones, derechos de suscripción, entre otros; pero en lo que se refiere a CER, estos productos financieros no están considerados dentro de la canasta de oferta de la Bolsa de Valores de Ecuador. Mientras que los Créditos de Carbono son objeto de transacción en el mercado bursátil (Páez y Recalde, 2016).

Un ejemplo de gestión son los bosques secos de Loja, donde los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GADs) cantonales obtuvieron un total de 3 553 200 certificados emitidos para negociar, a un precio referencia de 5 USD por certificado, lo cual da un valor económico por el servicio ecosistémico de USD 17 766 000. Este recurso económico permitirá la ejecución de proyectos productivos para el mejoramiento de las condiciones socioeconómicas de la población local, a través de la generación de alternativas económicas y la conservación del bosque seco (Aguirre et al., 2017).

De las experiencias existentes en el Ecuador y a nivel internacional, se conoce que entre los principales riesgos en el comercio carbono se encuentran las cambiantes reglas de los mercados, así como a la volatilidad de los precios de los bonos de carbono. Estos riesgos dependen de la incertidumbre de las reacciones de los mercados a diferentes acontecimientos globales (Aguirre et al., 2017; Vistin Guamantaqui et al., 2022).

CONCLUSIONES

En los suelos de la parroquia Quimiag las mayores cifras de carbono orgánico que se presentan son las que se encuentran bajo las formaciones vegetales Herbazal del páramo y Herbazal y arbustal siempreverde subnival del páramo con valores de 262 852.30 t/CO y 74 984.70 t/CO respectivamente cuya sumatoria de porcentajes entre estos dos ecosistemas nos da un valor de 84.57% de los bonos a ofertar.

Este estudio demuestra que es rentable realizar proyectos de comercialización de bonos de carbonos de los siete ecosistemas que alberga la parroquia Quimiag y, que los ejecutores de este tipo de proyectos podrían pagar una tasa de hasta 22.30 USD en el mejor escenario, la cual es superior a la tasa de 10% que pide la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC) para emitir los Certificados de Emisiones Reducidas (CERs) que puedan ser comercializados en el mercado internacional de carbono.

Por un total 399 482.25 bonos de carbono ofertados al mercado internacional, considerando el mejor de los escenarios, de 22.30 USD, se obtendría un valor de 8 908 454.18 USD. Mientras que, en el peor de los escenarios, con un valor de 2.97 USD por bono, se contaría con 1 186 462.28 USD, lo que contribuiría positivamente a la conservación y resiliencia de estos ecosistemas altoandinos.

El análisis realizado permite afirmar que este tipo de proyectos son rentables, incluso considerando una alta probabilidad de escenarios negativos. Sin embargo, es necesario, al momento de la elaboración del contrato, establecer adecuadamente las cláusulas de este, en donde se especifique el valor por el cual están siendo negociados los bonos, el plazo, y otras condiciones específicas del contrato.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH) y al Decanato de Investigaciones, quienes a través de su apoyo al proyecto “Valoración de los servicios ecosistémicos como mecanismo para la sostenibilidad y resiliencia de la biodiversidad de los ecosistemas de la parroquia Quimiag” contribuyen positivamente al desarrollo de estudios científicos sobre la ecología de ecosistemas altoandinos, buscando siempre mecanismos de sostenibilidad y adaptación al Cambio climático. De igual manera un agradecimiento a las autoridades del Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural de Quimiag, quienes brindaron su contingente en bien de la resiliencia de estos ecosistemas que forman parte del territorio parroquial.

Funding. This research work was founded by Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Conflict of interest. There is no conflict of interest to declare.

Compliance with ethical standards. Due to the nature of this work, this research does not require approval from an ethical committee.

Data availability. Data is available with the corresponding author upon reasonable request.

Author contribution statement (CRediT). **D. A. Vistin** - Conceptualization. Investigation Visualization. Formal Analysis. Writing-original draft, **E.I. Ramos** - Project administration. Supervision. Writing-original draft, **J. E. Balseca** - Writing-original draft. Investigation. Supervision, **E. M. Salas**. Investigation. Writing-original draft. Writing-review & editing.

REFERENCES

- Aguirre, N., Erazo, A. and Granda, J., 2017. Posibilidades de comercialización de bonos de carbono del bosque seco de la provincia de Loja, Ecuador. *Bosques Latitud Cero*, 7(2), pp. 98–115. <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/bosques/article/view/324>
- World Bank, 2017. State and Trends of Carbon Pricing 2017 (Issue November). <https://doi.org/10.1596/28510>
- Cantú, I. and Yáñez, M., 2018. Effect of the change of land use on the contents of soil organic carbon and nitrogen. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(45), pp. 1–24. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i45.138>
- Castro, M., 2011. Una valoración económica del almacenamiento de agua y carbono en los bofedales de los Páramos Ecuatorianos - La experiencia en Oña-Nabón-Saraguro-Yacuambi y el Frente Suroccidental de Tungurahua. Quito:Ecociencia/Wetlands International/UTPL/MAE. https://ecociencia.org/wp-content/uploads/2022/02/una_valoracion_economica_en_bofedales_del_paramo.pdf
- Estrada-Chavira, M., 2022. Evolución y controversias de los bonos de carbono en México. *Semestre Económico*, 11(1), pp. 127–133. <https://doi.org/10.26867/se.2022.v11i1.132>
- Food and Agriculture Organization, 2017. Carbono Orgánico del Suelo: el potencial oculto. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura Roma, Italia.
- Feldmann, F.J. and Furriela, R.B., 2001. Los cambios climáticos globales y el desafío de la ciudadanía planetaria. *Acta Bioethica*, 2, pp. 287–292. <https://www.scielo.cl/pdf/abioeth/v7n2/art10.pdf>
- Galantini, J., Rosell, R.A. and Iglesias, J.O., 2008. Determinación de materia orgánica en fracciones granulométricas de suelos de la región semiárida bonaerense. *Ciencia Del Suelo*, 12(January), pp. 81–83. <https://scielo.org.ar/pdf/agrisc/v25n1/v25n1a06.pdf>
- Gradstein, S.R. and León-Yáñez, S., 2020. Liverwort diversity in Polylepis pauta forests of Ecuador

- under different climatic conditions. *Neotropical Biodiversity*, 6(1), 138–146. <https://doi.org/10.1080/23766808.2020.1809273>
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2023. Boletín No: 16 de predicción climática. https://www.inamhi.gob.ec/pronostico/cwrf/2023/Boletin_CWRF.pdf
- International Panel for Climate Change, 2014. Cambio climático 2014 Informe de Síntesis Contribución de los Grupos de trabajo I,II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. IPCC, Ginebra, Suiza.
- Jiménez-García, D. and Peterson, A.T., 2019. Climate change impact on endangered cloud forest tree species in Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 90, p. e902781. <https://doi.org/10.22201/IB.20078706E.2019.90.2781>
- León, P. and Rodríguez, F., 2020. Valor económico del almacenamiento de carbono en los páramos de la Reserva Ecológica el Ángel. *Revista Geoespacial*, 14(1 SE-Artículos Técnicos), pp. 65–82. <https://doi.org/10.24133/geoespacial.v14i1.1596>
- MAE, 2013. Metodología para la Representación Cartográfica de los Ecosistemas del Ecuador Continental. Subsecretaría de Patrimonio Natural. Quito, 1-106. https://www.ambiente.gob.ec/wpcontent/uploads/downloads/2012/09/Documento_Metodologia+log+C2%A1a_28_05_2012_v2_1.pdf
- MAE, 2015. Estrategia de Sostenibilidad Financiera del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP) del Ecuador. Quito, Ecuador.
- Magrin, G., 2015. Adaptación al Cambio Climático en América Latina y el Caribe. Repositorio Comisión Económica Para América Latina y El Caribe (CEPAL), 15, p. 80. <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/39842%0Ahttp://www.cepal.org/es/publicaciones/39842-adaptacion-al-cambio-climatico-america-latina-caribe>
- McCarty, G.W., Reeves, J.B., Reeves, V.B., Follet, R.F. and Kimble, J.M., 2002. Reflectance Spectroscopy for Soil Carbon. *Soil Carbon*, 66(March 2002), pp. 640–646. <https://doi.org/10.2136/sssaj2002.6400>
- Mendoza, H., Moncada, E. and Roca del Salto, J., 2019. Potencial económico de los cañaverales de bambú de la zona 5 del Ecuador en el comercio de emisiones. *Universidad y Sociedad*, 11(2), 377–386. <http://scielo.sld.cu/pdf/rus/v11n2/2218-3620-rus-11-02-377.pdf>
- Ochoa, O., 2016. Bonos de carbono: desarrollo conceptual y aproximación crítica. *Misión Jurídica*, 9(11), 289–297. <https://doi.org/10.25058/1794600x.141>
- ONU, 1998. Protocolo de Kyoto de la convención marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (Vol. 61702). <https://doi.org/10.1145/115790.115803>
- ONU, 2017. Directrices para Emergencias Ambientales. 2ª. ed. Ginebra:Unidad conjunta de ONU-Medio ambiente/OCHA. https://eecentre.org/wp-content/uploads/2023/01/EE_guidelines_spanish.pdf
- Páez, J. and Recalde, M., 2016. Análisis de las Negociaciones de Mercado de Carbono en la Bolsa de Valores en Ecuador. *Revista Publicando*, 3(9), pp. 752–767. <https://revistapublicando.org/revista/index.php/crv/article/view/409>
- Pinos-Morocho, D., Morales-Matute, O. and Durán-López, M.E., 2021. Suelos de páramo: Análisis de percepciones de los servicios ecosistémicos y valoración económica del contenido de carbono en la sierra sureste del Ecuador. *Revista de Ciencias Ambientales*, 55(2), pp. 157–179. <https://doi.org/10.15359/rca.55-2.8>
- Pizarro, R., 2021. Sistemas de instrumentos de fijación de precios del carbono en América Latina y jurisdicciones de las Américas relevantes. Documentos de Proyectos (LC/TS.2021/41). Santiago: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/8da145f2-6dda-4155-8f36-bbc4098c396f/content>
- Rodríguez, F., Olié, J., Abellanas, B., Cuadros, S., Fernández, P., and Zamora, R., 2004. Manual de ordenación de montes de Andalucía. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía. Sevilla: A.G. Novograf, S.A. https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/web/Bloques_Tematicos/Publicaciones_Divulgacion_Y_Noticias/Documentos_Tecnicos

- [cos/manual_ordenacion_montes_andalucia/manual_ord_montes.pdf](#)
- Rodríguez, M., 2013. Estimación de márgenes de rentabilidad para el financiamiento de proyectos de captura de carbono: caso bosques secos de Lambayeque. *Bosques Latitud Cero*, 6(1), pp. 127–134. <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/bosques/article/view/324>
- Sánchez, L., and Reyes, O., 2015. Medidas de adaptación y mitigación frente al cambio climático en América Latina y el Caribe. Economic Commission for Latin America and the Caribbean, Santiago: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/39781/S1501265_es.pdf?sequence=1
- Santos, M., 2007. Bonos de Carbono: Situación Actual y Perspectivas. Buenos Aires. http://bibliotecadigital.econ.uba.ar/download/tpos/1502-0825_SantosMB.pdf
- Spracklen, D.V. and Righelato, R., 2014. Tropical montane forests are a larger than expected global carbon store. *Biogeosciences*, 11(10), pp. 2741–2754. <https://doi.org/10.5194/bg-11-2741-2014>
- Vela, G., López, J., Rodríguez, M. and Hernández, A., 2009. Vulnerabilidad del suelo de conservación del distrito federal ante el cambio climático y posibles medidas de adaptación. Informe Final, Centro Virtual de Cambio Climático de La Ciudad de México, Instituto de Ciencia y Tecnología Del D. F., México.
- Villaroel Herrera, M., Chamorro Armas, S.E., González Escudero, M.A. and Palacios Cabrera, T.A., 2017. Almacenamiento de agua y fijación de carbono en reserva ecológica El Ángel y su impacto en el uso del suelo. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 3(1 SE-Artículos), pp. 42–48. <https://doi.org/10.29166/revfig.v1i1.54>
- Vistin, D. and Barrero, H., 2017. Floristic study of the green forest always montano of the community of Guangras, Ecuador. *Avances*, 19, pp. 218–226. <https://www.redalyc.org/pdf/6378/637867021003.pdf>
- Vistin, D., Muñoz, E. and Ati, G., 2020. Monitoreo del Herbazal del páramo una estrategia de medición del cambio climático en la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo. *Ciencia Digital*, 4(2), pp. 32–47. <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v4i2.1195>
- Vistin, D., Muñoz, E. and Ati, G., 2021. Escenario de cambio climático del Bosque siempreverde del páramo Reserva de producción de fauna Chimborazo-Ecuador. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 24, p. #56. <http://dx.doi.org/10.56369/tsaes.3448>
- Vistin Guamantaqui, D.A., Muñoz Jácome, E.A. and Ati, G., 2022. Carbon bonds, a sustainability alternative in the Chimborazo Fauna Production Reserve. *Madera y Bosques*, 28(1), pp. 1–16. <https://doi.org/10.21829/myb.2022.2812089>